

دراسة الاستجابة الزلزالية للمبني البيتونية المسلحة باستخدام نظام عزل هجين

سحر محمود فارس^{1*} ريم سلمان الصحاوي²

^{1*}. طالبة ماجستير، مهندسة، قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق. saharfares@Damascusuniversity.edu.sy

² مدرسية، دكتورة، قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق. reem1.salman@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

تستخدم أنظمة العزل الزلزالي لتخفيض التسارعات والإزاحات الطابقية بالإضافة لقوى القص القاعدي مقارنة مع المنشأ من دون عزل، ويتم عادة استخدام أنظمة العزل التقليدية المطاطية والتي أثبتت فعاليتها في رفع كفاءة المبني زلزاليًا، إلا إنه في حالات خاصة من المبني كالمباني العالية والمباني خفيفة الوزن يعتبر هذا العزل غير فعال، لذلك كان لا بد من البحث عن نظام عزل هجين فعال في تخفيف التسارعات والإزاحات الطابقية وقوى القص القاعدي للأبنية العالية. يهدف البحث إلى دراسة أثر استخدام الأنظمة الهجينية المكونة من المساند الخطية المتقطعة والمساند المطاطية في تحسين السلوك الزلزالي للمبني العالية تحت تأثير عدة هزات أرضية بالاستعانة ببرنامج ABAQUS وذلك بتغيير عدة بارامترات (تغيير ارتفاع المبني، معامل الإحتكاك ضمن المسند الخطى المتقطع، الطاقة التخميدية للعوازل المطاطية المرافقـة). تم تقييم الاستجابة للمنـشـأ المعزـول من خـلـال مقارـنة الدور والتـسـارـعـاتـ والإـزـاحـاتـ الطـابـقـيـةـ وـقـوىـ القـصـ القـاعـديـ معـ المـنـشـأـ منـ دونـ عـزلـ.ـ وأـظـهـرـ النـتـائـجـ فـعـالـيـةـ نـظـامـ العـزلـ الـهـجـيـنـ فـيـ تـقـلـيلـ التـسـارـعـاتـ والإـزـاحـاتـ الطـابـقـيـةـ وـتـخـفـيـضـ قـوـةـ القـصـ القـاعـديـ فـيـ الأـبـنـيـةـ الـعـالـيـةـ،ـ وـأـنـ تـغـيـرـ معـالـمـ الإـحـتكـاكـ لـلـمـسـنـدـ الخـطـىـ المـتـقـطـعـ لـمـ يـؤـثـرـ بـشـكـلـ مـلـمـوسـ عـلـىـ قـيـمـ التـسـارـعـاتـ والإـزـاحـاتـ الطـابـقـيـةـ بـالـمـقـابـلـ أـدـىـ إـلـىـ زـيـادـةـ كـمـيـةـ الطـاـقةـ الـمـبـدـدـةـ.

الكلمات المفتاحية: الأبنية العالية، العزل الهجين، المساند الخطية المتقطعة، التساعز الزلزالي، الإزاحة الطابقية.

تاريخ الإيداع: 2023/8/29
تاريخ القبول: 2023/11/28



حقوق النشر: جامعة دمشق - سوريا، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب CC BY-NC-SA

Studying the seismic response of reinforced concrete buildings using a hybrid isolation system

Sahar MAHMOUD FARES^{*1} Reem Salman ALSEHNAWI²

^{*1}. Master Student in Department of Seismic Structural Engineering, Higher Institute of Earthquake Studies & Research, University of Damascus, Damascus, Syria.

saharfares@Damascusuniversity.edu.sy

². Assistant Professor in Department of Seismic Structural Engineering, Higher Institute of Earthquake Studies & Research, University of Damascus, Syria.

reem1.salman@damascusuniversity.edu.sy

Received: 29/8/2023
Accepted: 28/11/2023



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Abstract:

Seismic isolation systems are used to reduce floor accelerations and displacements in addition to the base shear forces compared to the building without isolation. Tra-

ditional rubber isolation systems are usually used, which have proven effective in raising the seismic efficiency of buildings. However, in special cases of buildings such as tall buildings and lightweight buildings, this isolation is considered It is not effective, so it was necessary to search for a hybrid isolation system that is effective in reducing the floor accelerations and displacements and the base shear forces of tall buildings. The research aims to study the effect of using hybrid systems consisting of cross linear bearings and rubber bearings in improving the seismic behavior of tall buildings under the influence of several earthquakes, using the ABAQUS program, by changing several parameters (change of building height, friction coefficient within the cross linear bearing, damping energy of rubber isolators accompaniment).The response to the isolated structure was evaluated by comparing the role, accelerations, floor displacements, and base shear forces with the structure without isolation.The results showed the effectiveness of the hybrid isolation system in reducing floor accelerations and displacements and reducing the base shear force in tall buildings, and that the change of the friction coefficient of the cross linear bearing had no effect on the response of the structure, increasing the capacity of the rubber bearing did not significantly affect the values of accelerations and drift ratio, on the contrary, it led to an increase in the amount of energy dissipated.

Key words: High Building, Hybrid Isolation, Cross Linear Bearing, Seismic Acceleration, story drift ratio.

المقدمة:

بواسطة نظام العزل هجين، تمت دراسة استجابة المبني الخشبي تحت تأثير هزة كوبى، حيث انخفضت قيم التسارع حوالي 90% في حالة القاعدة المعزولة.

(Fumiaki Arimia et al, 2000)

قام (Tomohiro Sasaki et al 2012) بدراسة تجريبية باستخدام طاولة الاهتزاز ، حيث قام الباحث بإجراء اختبار لمبني إطار فولاذى مكون من 5 طوابق وأجرى مقارنة بين المبني مع قاعدة معزولة بنظام عزل هجين مكون من 4 مساند مطاطية مزودة بنواة رصاصية و 5 مساند خطية متقطعة ، والمبني في حالة القاعدة بدون عزل. كانت أهم النتائج التي تم التوصل إليها تناقص قيم التسارع في المبني المعزول مقارنة مع المبني في حالة القاعدة الثابتة، كما شهدت حالة القاعدة الثابتة تضخيم استجابة يتجاوز الواحد ويترافق مع ارتفاع الطوابق ولوحظ أيضاً أضرار في المكونات الغير الإنسانية في المقابل لم يلاحظ أي ضرر في أنظمة السقف أو الجدران الداخلية في حالة المبني المعزول.

(Tomohiro Sasaki et al, 2012)

قدم (Keri L Ryan 2018) بحثاً تجريبياً حيث تناول البحث النموذج ذاته في الدراسة السابقة للباحث Tomohiro et al كان الهدف التحقق من صحة أداء المساند المطاطية في المبني خفيفة الوزن عند تعريضها إلى إزاحات كبيرة والتحقق من آلية نقل الأحمال المحورية من المساند المطاطية إلى المساند الخطية المتقطعة. تم إثبات أن الاستجابة مستقرة لنظام العزل الهجين حيث أظهرت المساند المطاطية حلقات مستقرة والتي كانت المساند الخطية المتقطعة فعالة في تثبيتها عند الإزاحات الكبيرة.

(Keri L Ryan, 2018)

نشرت العديد من الدراسات والأبحاث العالمية التي تتعلق بدراسة السلوك الزلالي للمنشآت المزودة بالمساند المطاطية، حيث اقتصرت فعاليتها في تحسين الاستجابة الزلالية للمبني المنخفضة والمتوسطة الارتفاع. نظراً لذلك اتجهت أبحاث إلى تزويد أنظمة العزل التقليدية المطاطية بنوع من المساند المعدنية التي تدعى بالمساند الخطية المتقطعة، والتي وجد بإنها فعالة في المبني خفيفة الوزن والمبني العالية، حيث تتالف المساند الخطية المتقطعة من صفيحة علوية وصفحة سفلية وموجه خطى علوي وموجه خطى سفلي يتوضع بينهم رقائق مطاطية، حيث يتميز هذا العازل بمقاومته المنخفضة للاحتكاك وصلابته الأفقية المنخفضة والقدرة على تحمل أحمال الشد، بالإضافة إلى تأمين اهتزاز بأدوار كبيرة تصل إلى 4-3 ثواني حتى بالنسبة للمبني خفيفة الوزن، وتأمين حركة مستوية بالإتجاهين XY وبشكل كيقي نتيجة لتعامد موجهي الحركة الأفقية. (Toniolo R, 2008)

درس (Fumiaki Arima et al 2000) تأثير العزل الزلالي على استجابة مبني بيتوبي خفيف الوزن مكون من 5 طوابق أجرى مقارنة بين المبني بدون عزل ، والمبني معزول بواسطة المساند الخطية المتقطعة، تمت دراسة استجابة المبني تحت تأثير هزة إيبارجي (1998,M5.5)، بينت النتائج أن العزل الزلالي أدى إلى انخفاض قيم التسارع بشكل كبير مقارنة مع المبني بالحالة التقليدية.

أيضاً قام (Fumiaki Arimia et al 2000) بدراسة استجابة مبني خشبي عبارة عن بيت سكني معزول بنظام عزل هجين مكون من مساند خطية متقطعة ومساند مطاطية مزودة بنواة رصاصية وأجرى مقارنة بين المبني بدون عزل والمبني معزول

عالٍ وفي الأبنية العالية يكون التردد منخفض بشكل واضح أحياناً وبالتالي يفقد العازل المطاطي فعاليته. نظراً لذلك اتجهت أبحاث إلى تزويد أنظمة العزل القليدية المطاطية بنوع من المساند المعدنية التي تدعى بالمساند الخطية المقاطعة والتي وجد بإنها فعالة في تحسين الاستجابة الزلزالية للمبني العالي والمباني خفيفة الوزن. ومن هنا تأتي أهمية البحث من قدرة نظام العزل الهجين المكون من المساند الخطية المقاطعة والمساند المطاطية في تبديد أكبر قدر ممكن من الطاقة الزلزالية والحفاظ على استقرار المنشأ، وتقليل التسارعات والإزاحات الطابقية في المبني العالي.

3- أهداف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة فعالية استخدام الأنظمة الهجينية المكونة من المساند الخطية المقاطعة والمساند المطاطية في تحسين السلوك الزلزالي للمبني العالي بتغيير عدة بارامترات:

1. تغيير ارتفاع المبني تحت تأثير عدة هزات أرضية.
2. تغيير عامل الاحتكاك ضمن المسند الخطبي المقاطع ضمن المسند المقاطع بتطبيق زلزال كوبوي.
3. الطاقة التخميدية للعوازل المطاطية المرافقية بتطبيق زلزال كوبوي.

4- مواد البحث وطرائقه:

4-1-توصيف المبني المدروس:

إن المبني المدروس عبارة عن مبني عالي من البيرتون المسلح، حيث يبين الشكل (1) المسقط الأفقي لطابق متكرر، إذ اعتمد هذا المسقط في كافة نماذج الدراسة التحليلية البارامترية، وتبين الجداول (1) و (2) خصائص المواد المستخدمة ومواصفات البناء المدروس، على التوالي، ويبيّن الجدول (3) الهزات الزلزالية التي خضع لها المبني.

الجدول (1) خصائص المواد المستخدمة

قام (Yan-Shing Lin et al 2020) بإجراء اختبار لإطار خشبي خفيف الوزن مكون من 6 طوابق على طاولة الاهتزاز، تم إجراء الاختبار في حالة القاعدة ثابتة وقاعدة معزولة بواسطة نظام العزل المكون من مساند خطية مقاطعة المتصل بنظام EEW. حيث أثبت نظام عزل القاعدة الذي المقترن فعاليته في تقليل الاستجابة بشكل كبير في جميع الزلزال المختبرة، وأدى إلى انخفاض قيم التسارع بشكل ملحوظ في حالة القاعدة المعزولة على مستوى الأرض ومستوى السطح.

(Yan-Shing Lin et al, 2020)

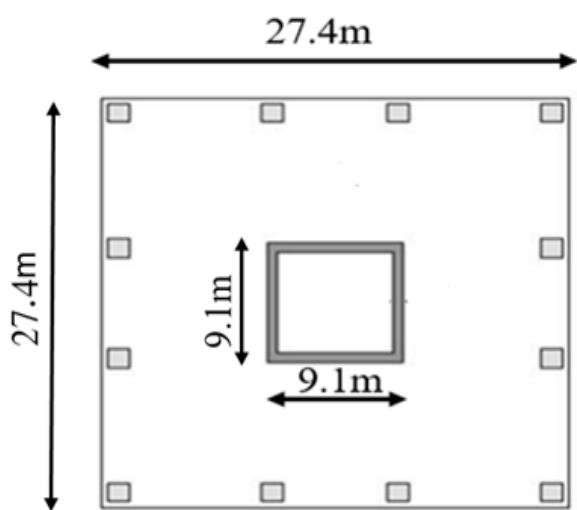
قدم (Vladimir Calugaru et al 2014) دراسة تحليلية لمبني خرساني مكون من 20 طابق، وأجرى مقارنة بين المبني في حالة القاعدة الثابتة، والمبني مع قاعدة معزولة بنظام عزل هجين مكون من مساند خطية مقاطعة ومساند مطاطية ومخدمات سائلة لزجة، تمت دراسة استجابة المبني تحت تأثير 14 هزة أرضية، شهد المبني ذو القاعدة المعزولة استجابة مرنة على عكس المبني ذو القاعدة الثابتة الذي طور تشوّهات كبيرة وغير مرنة في الجدار، كما انخفضت نسبة إزاحة السقف في المبني ذو القاعدة المعزولة حوالي 27% و 2.3%， أما نسبة الإزاحة بين الطوابق فقد انخفضت حوالي 90% و 81%， وانخفضت قيمة التسارع حوالي 74.7% على مستويات DE و MCE على التوالي مقارنة مع حالة القاعدة الثابتة.

(Vladimir Calugaru et al, 2014)

2- مشكلة وأهمية البحث:

تستخدم مساند العزل المطاطية لنوع من أنواع العزل القاعدي وبالرغم من فعالية هذه المساند في رفع كفاءة المبني زلزالياً إلا إن لديها محدوديات في حالات خاصة من المبني كالمباني العالية والمباني خفيفة الوزن، حيث إن هذه العوازل تعمل ضمن مجال ترددي

TCU68		0.45	0.67
TCU87	Chi-Chi, Taiwan, 1999, M7.6	1.06	1.59
TCU101		1.35	2.02
TCU102		1.52	2.29
TCU103		1.67	2.5
Yarimca	Kocaeli, Turkey, 1999, M7.4	0.75	1.12



الشكل (1) مسقٍ الطابق المدروساً

2-4- نمذجة المبني:

بني النموذج على برنامج Abaqus، الجملة الإنسانية للبناء عبارة عن جملة إطارية جدارية تمت نمذجة الجواز والأعمدة باستخدام العنصر الفراغي B31، ونمذجة البلاطات والجدران باستخدام العنصر الصنفائي (S4R)، ربطت كافة العناصر (الإطارية، الصنفائية) عند نقاط التقائها فيما بينها بربطة تربط كافة درجات الحرية بشكل كامل. وتمت نمذجة البلاطات باعتماد فرضية الحجاب الطابقي ذو الصلادة المحددة بحيث تؤخذ تشوّهات البلاطة بعين الاعتبار أثناء التحليل الديناميكي تحت تأثير الهزاتزلالية على المنشا.

$F_c=48 \text{ MPa}$	إجهاد الضغط للبيتون
$E_c=40183.58 \text{ MPa}$	معامل مرنة للبيتون
$\nu_{concret}=0.2$	معامل بواسون للبيتون
$\gamma_c=24 \text{ kN/m}^3$	الوزن الحجمي للبيتون
$F_y=414 \text{ MPa}$	حد السيلان لفولاذ التسلیح الطولي
$F_y=250 \text{ MPa}$	حد السيلان لفولاذ التسلیح العرضي
$E_{st}=200000 \text{ MPa}$	معامل مرنة الفولاذ
$\gamma_{st}=78 \text{ kN/m}^3$	الوزن الحجمي للفولاذ
$\nu_{steel}=0.3$	معامل بواسون الفولاذ

الجدول (2) خصائص العازل

المسند المطاطي (LRB)	
Keff	1400 kN/m
K1	7350 kN/m
α	10%
المسند المطاطي منخفض التخاذ	
K1	1130 kN/m
المسند الخطى المتقطاع	
μ	0.003

الجدول (3) الهزاتزلالية

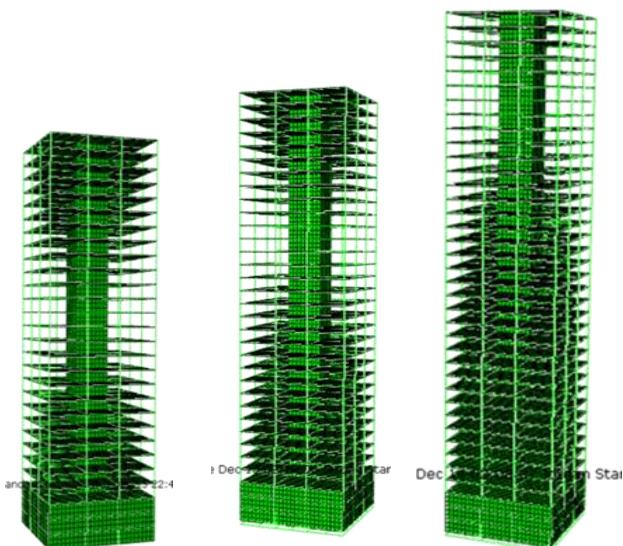
Station name	Earthquake Location, year, Magnitude	DE	MCE
Duzce	Duzce, Turkey, 1991, M7.1	0.78	1.18
El Centro Ar-ray#6	Imperial, CA, 1979, M6.5	1.48	2.22
Lucerne	Landers, CA, 1992, M7.3	0.31	0.47
Tabas	Tabas, Iran, 1978, M7.4	0.27	0.4
Takatori	Kobe, Japan, 1995, M6.9	0.67	1
TCU52		0.67	1
TCU67		1.67	2.5

2. تغيير معامل الاحتكاك ضمن المسند المتقاطع بتطبيق زلزال كובי.

3. تغيير الطاقة التخميدية للمساند المطاطية بتطبيق زلزال كובי.

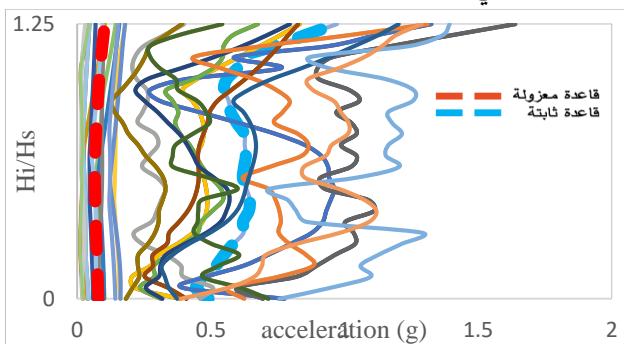
١-٥ تغيير ارتفاع الطوابق:

تم دراسة الاستجابةالزلزالية في المبني والمتمثلة في (الدور، التسارع الزلزالي، الإزاحة الطابقية، القص القاعدي) وتم مقارنة نتائج حالة المنشأ الموثوق وحالة المنشأ المعزول.



الشكل (3) المبني بالشكل ثلاثي الأبعاد

يبين الجدول (4) مقارنة قيم دور الاهتزاز للمبني الموثوقة والمبني المعزولة.



الشكل (4) التسارع الزلزالي للهبات التصميمية على كامل ارتفاع المبني لكل من المبني الموثوق والمبني المعزول في حالة 25 طابق.

٣-٤ مراحل الدراسة:

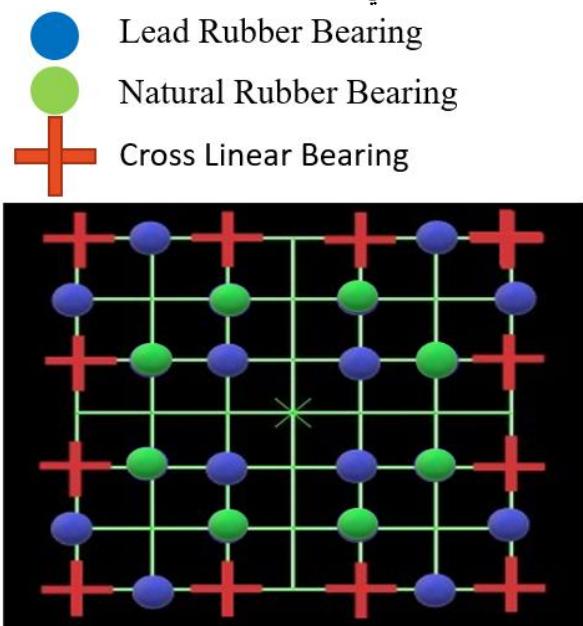
تمت الدراسة على مرحلتين:

المرحلة الأولى:

تم اعتبار المبني المدروسة موثقة من الأسفل (حالة النموذج الشائع)، حيث تم تحليل المبني باستخدام طريقة التحليل الديناميكي الالخطي.

المرحلة الثانية:

تم اعتبار المبني معزولة بنظام عزل هجين مكون من مساند خطية متقاطعة ومساند مطاطية ويوضح الشكل (2) أماكن توزع العوازل، ومن ثم إعادة التحليل الديناميكي.



الشكل (2) أماكن توزع العوازل

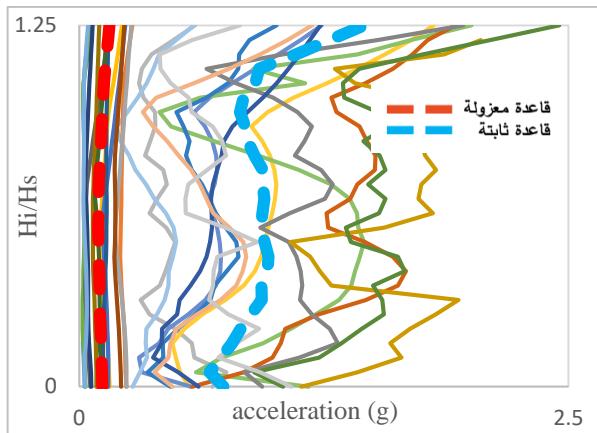
٥- الدراسة التحليلية:

تم نمذجة المبني و دراسة السلوك الديناميكي من خلال أخذ البارامترات التالية بعين الاعتبار:

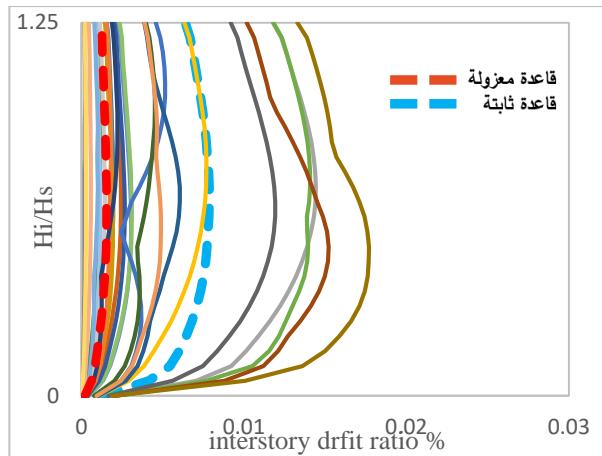
1. تغيير ارتفاع الطوابق 25 - 30 - 35 طابق وذلك تحت تأثير 13 هزة أعظمية و تصميمية عالية الشدة.

و 0.0012% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي

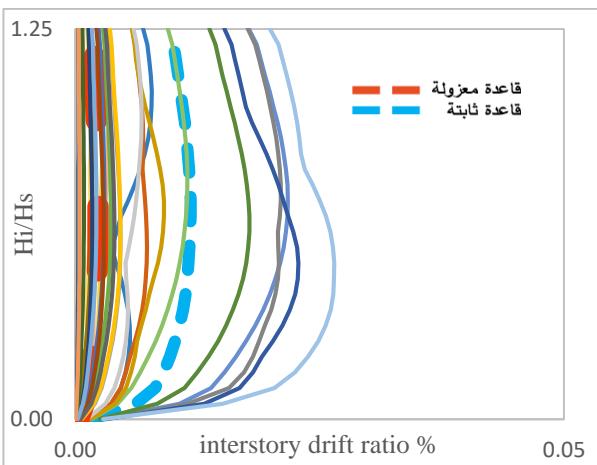
.80%



الشكل (6) التسارع الزلالي للهبات الأعظمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبني المؤوثق والمبني المعزول في حالة 25 طابق.



الشكل (5) الإزاحة الطابقية النسبية للهبات التصميمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبني المؤوثق والمبني المعزول في حالة 25 طابق.



الشكل (7) الإزاحة الطابقية النسبية للهبات الأعظمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبني المؤوثق والمبني المعزول في حالة 25 طابق.

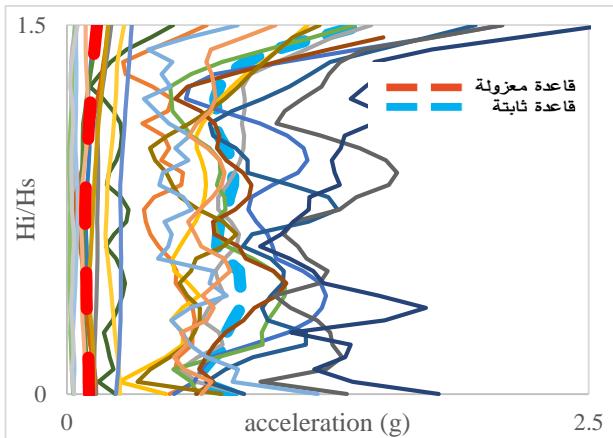
يظهر الشكل (6) التسارع الزلالي عند مستوى كل طابق لجميع الهبات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبني المؤوثق وحالة المبني المعزول للمبنى المؤلف من 25 طابق تمأخذ الوسطي لنتائج الهبات في الحالتين (الخط المتقطع) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 0.97g في حالة المنشأ المؤوثق و 0.1g في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 89.45%. أما الشكل (7) يبين قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوى كل طابق لجميع الهبات الأعظمية (الخط المستمر)

الجدول(4) قيم دور الاهتزاز

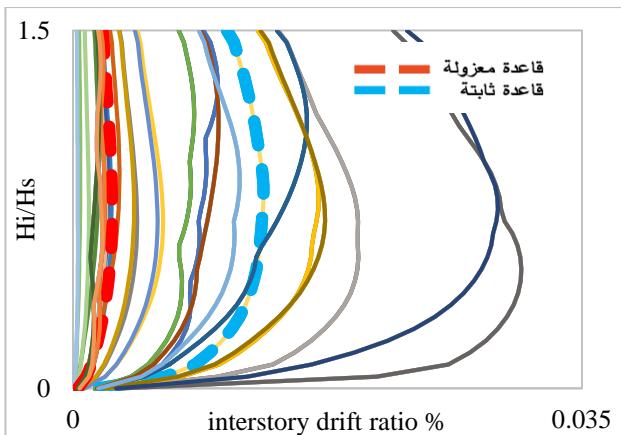
	طابق 25	طابق 30	طابق 35
القاعدة الثابتة	1.98sec	2.41sec	2.96sec
القاعدة المعزولة	2.06sec	2.63sec	3.26sec

يوضح الشكل (4) التسارع الزلالي عند مستوى كل طابق لجميع الهبات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبني المؤوثق وحالة المبني المعزول للمبنى المؤلف من 25 طابق (يعبر المحور الشاقولي عن الارتفاع الطابقي Hi مقسوماً على الارتفاع الكلي للمبني (H_s)), تم أخذ الوسطي لنتائج الهبات في الحالتين (الخط المتقطع) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 0.97g في حالة المنشأ المؤوثق و 0.1g في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 89%. ويبين الشكل (5) مقارنة قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوى كل طابق لجميع الهبات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبني المؤوثق وحالة المبني المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهبات في الحالتين (الخط المتقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.0064% في حالة المنشأ المؤوثق

حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير $g = 0.945g$ في حالة المبني الموثوق و $g = 0.0948g$ في حالة المبني المعزول أي انخفضت حوالي 89%. أما الشكل (9) يبيّن مقارنة قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوى كل طابق لجميع الهزات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبني الموثوق وحالة المبني المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.0071% في حالة المنشأ الموثوق و 0.00135% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 80%.

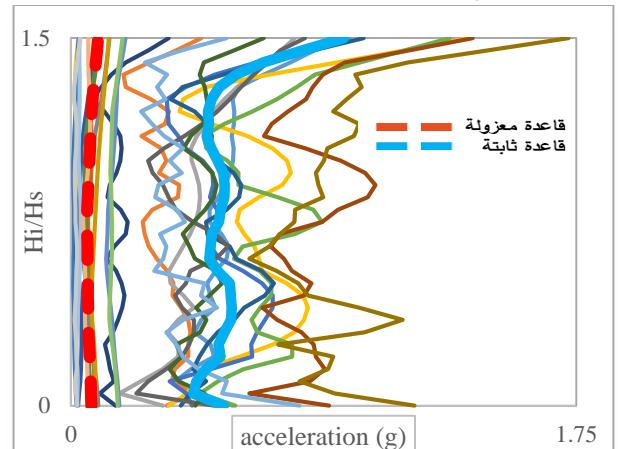


الشكل (10) التسارع الزلالي للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبني لكل من المبني الموثوق والمبني المعزول في حالة 30 طابق.

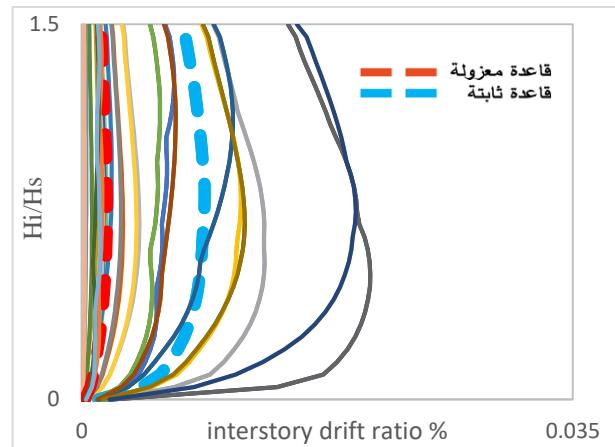


الشكل (11) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبني لكل من المبني الموثوق والمبني المعزول في حالة 30 طابق.

في حالة المبني الموثوق وحالة المبني المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.0096% في حالة المنشأ الموثوق و 0.0018% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 81%.

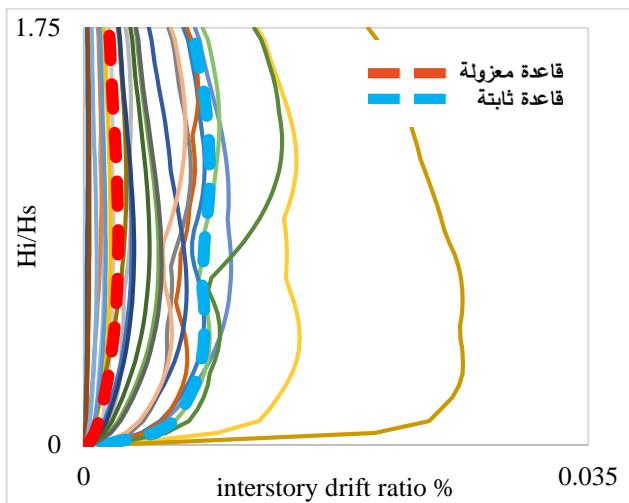


الشكل (8) التسارع الزلالي للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبني لكل من المبني الموثوق والمبني المعزول في حالة 30 طابق.



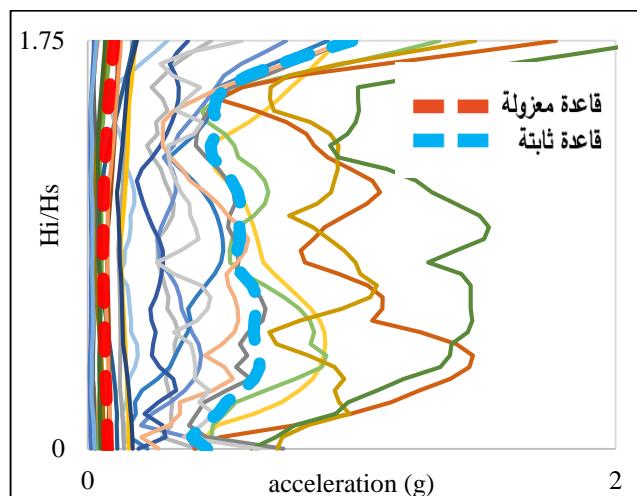
الشكل (9) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبني لكل من المبني الموثوق والمبني المعزول في حالة 30 طابق.

يظهر الشكل (8) التسارع الزلالي عند مستوى كل طابق لجميع الهزات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبني الموثوق وحالة المبني المعزول للمؤلف من 30 طابق، تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المتقطع)



الشكل (13) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبنى لكل من المبني الموثوق والمبني المعزول في حالة 35 طابق.
يظهر الشكل (12) التسارع الزلالي عند مستوى كل طابق لجميع الهزات التصميمية (الخط المستمر) في حالة المبني الموثوق وحالة المبني المعزول للهزة الموثوقة في الطابق الأخير 35 طابق، تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المنقطع) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 0.1416g في حالة المبني الموثوق و 0.01059g في الطابق الأخير في حالة المنشأ الموثوق أي انخفضت حوالي 89.9%. أما الشكل (11) يبيّن قيمة الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوى كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبني الموثوق وحالة المبني المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المنقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في المبني الموثوق و 0.0020% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 80.88%.

يظهر الشكل (10) التسارع الزلالي لجميع الهزات الأعظمية التسارع الزلالي عند مستوى كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبني الموثوق وحالة المبني المعزول للمبنى المؤلف من 30 طابق، تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المنقطع) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 1.416g في حالة المبني الموثوق و 0.14g في حالة المبني المعزول أي انخفضت حوالي 89.9%. أما الشكل (11) يبيّن قيمة الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوى كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبني الموثوق وحالة المبني المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المنقطع) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.01059% في حالة المنشأ الموثوق و 0.0020% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 80.88%.



الشكل (12) التسارع الزلالي للهزات التصميمية على كامل ارتفاع المبني لكل من المبني الموثوق والمبني المعزول في حالة 35 طابق.

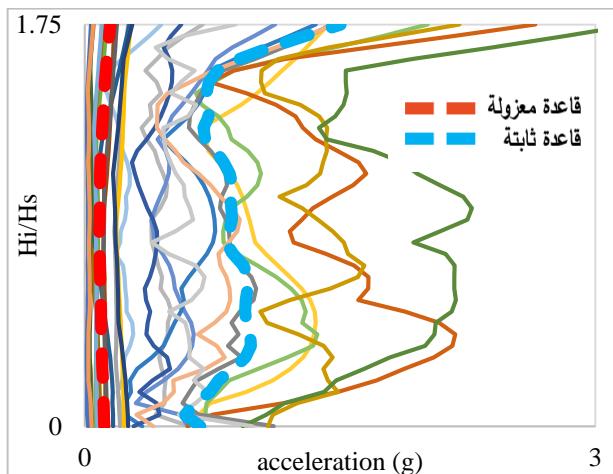
المبني المعزول، وعند أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المقطعي) بلغت قيمة الإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير 0.011% في حالة المنشأ الموثوق و 0.0025% في حالة المنشأ المعزول أي انخفضت حوالي 76.6%.

يبين الجدول (5) مقارنة قيم التسارع والإزاحة الطابقية النسبية في الطابق الأخير لهزه TCU67 عند تغيير ارتفاع الطوابق لكل من حالة القاعدة الثابتة وحالة القاعدة المعزولة.

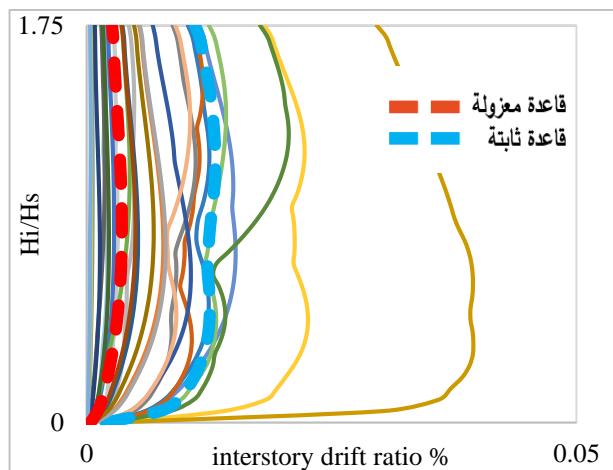
الجدول (5) نتائج قيم التسارع والإزاحة لهزه TCU67.

	التسارع في حالة القاعدة الثابتة	التسارع في حالة القاعدة المعزولة	الفرق النسبي
طابق 25	16.07	0.67	96%
طابق 30	16.90	0.98	94%
طابق 35	21.20	1.824	91%
	الإزاحة الطابقية النسبية في حالة القاعدة الثابتة	الإزاحة الطابقية النسبية في حالة القاعدة المعزولة	الفرق النسبي
طابق 25	0.013	0.00089	93%
طابق 30	0.015	0.0013	91%
طابق 35	0.011	0.0032	71%

تبين الجداول (6-7-8) مقارنة قيم القص القاعدي للهزات التصميمية للمبني المؤلفة من 25 و 30 و 35 طابق على التوالي.



الشكل (14) التسارع الزلزالي للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبني لكل من المبني الموثوق والمبني المعزول في حالة 35 طابق.



الشكل (15) الإزاحة الطابقية النسبية للهزات الأعظمية على كامل ارتفاع المبني لكل من المبني الموثوق والمبني المعزول في حالة 35 طابق.

يظهر الشكل (14) التسارع الزلزالي عند مستوى كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبني الموثوق وحالة المبني المعزول للمبني المؤلف من 35 طابق، تم أخذ الوسطي لنتائج الهزات في الحالتين (الخط المقطعي) حيث بلغت قيمة التسارع في الطابق الأخير 1.5g في حالة المبني الموثوق و 0.15g في حالة المبني المعزول أي انخفضت حوالي 89.99%. أما الشكل (15) يبين قيم الإزاحة الطابقية النسبية عند مستوى كل طابق لجميع الهزات الأعظمية (الخط المستمر) في حالة المبني الموثوق وحالة

الجدول (7) قوى القص القاعدي (N) في حالة القاعدة المعزولة والقاعدة الموثوقة في حالة 30 طابق.

Station name	قاعدة ثابتة	قاعدة معزولة	الفرق النسبي
Duzce	50553242	1241240	98%
\El Centro	87896035	14634900	83%
Lucerne	15651798	2432570	84%
Tabas	15711160	1103200	93%
Takatori	53368122	4478620	92%
TCU52	59373543	2977740	95%
TCU67	81573960	8097390	90%
TCU68	64401358	23132100	64%
TCU87	10812552	3634580	66%
TCU101	45924426	14470100	68%
TCU102	73683688	21588200	71%
TCU103	47445067	7189760	85%
Yarimca	41739663	10847200	74%

الجدول (8) قوى القص القاعدي (N) في حالة القاعدة المعزولة والقاعدة الموثوقة في حالة 35 طابق

Station name	قاعدة ثابتة	قاعدة معزولة	الفرق النسبي
Duzce	68095981	1290000	%98
\ElCentro	85097534	13263800	%84
Lucerne	21515117	1309850	%94
Tabas	23521830	1105530	%95
Takatori	70876652	3436120	%95
Tcu52	40832895	3765310	%91
TCU67	85544527	20242700	%76
TCU68	54149346	24926700	%54
TCU87	14826840	3781910	%74
TCU101	63647124	15113800	%76
TCU102	87060982	21509700	%75
TCU103	45572681	7973520	%83
Yarimca	57029195	8608220	%85

الجدول (6) قوى القص القاعدي (N) في حالة القاعدة المعزولة والقاعدة الموثوقة في حالة 25 طابق.

Station name	قاعدة ثابتة	قاعدة معزولة	الفرق النسبي
Duzce	42070492.2	10717800	75%
\El Centro	82560752	16698900	80%
Lucerne	14676174	1357820	91%
Tabas	17008968	942752	94%
Takatori	82145613	4333560	95%
TCU52	66430228	2799010	96%
TCU67	85087604	6964720	92%
TCU68	46464045	19600800	58%
TCU87	15251176	3431290	78%
TCU101	46916555	13656700	71%
TCU102	77230560	20830700	73%
TCU103	33535495	6770050	80%
Yarimca	41751342	12414600	70%

حيث

F : قوة مقاومة الاحتكاك

μ : معامل الاحتكاك

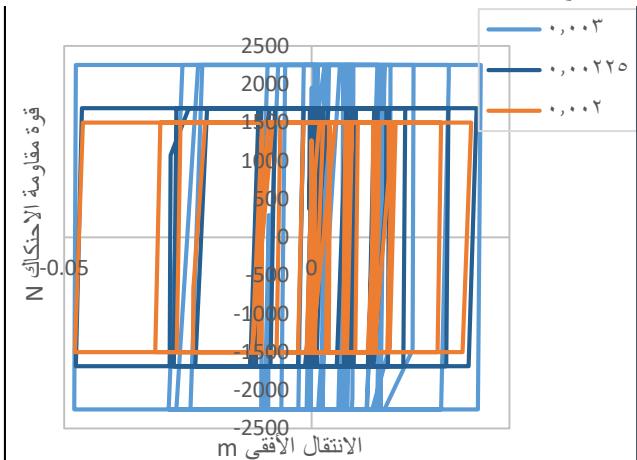
p : الحمل المطبق

تم دراسة حالتين لتغيير معامل الاحتكاك ومقارنتها مع الحالة الأساسية (0.003):

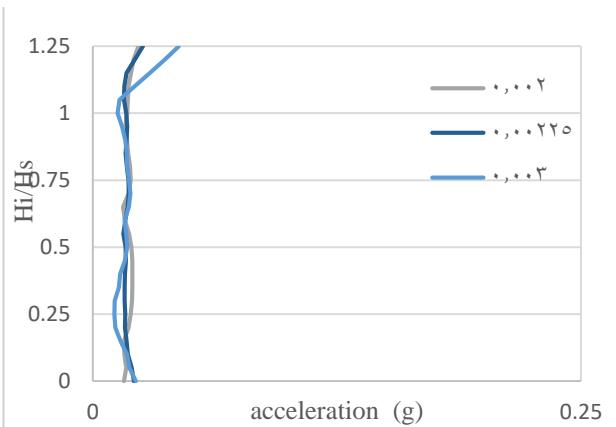
$$0.00225 \text{ .a}$$

$$0.002 \text{ .b}$$

حيث يوضح الشكل (17) سلوك المسند الخطى المتقطع لحالات تغيير معامل الاحتكاك.



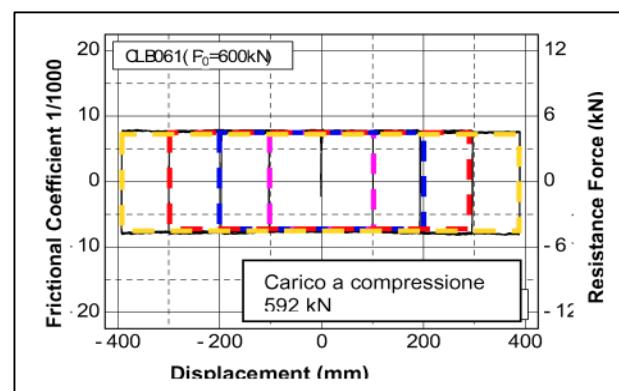
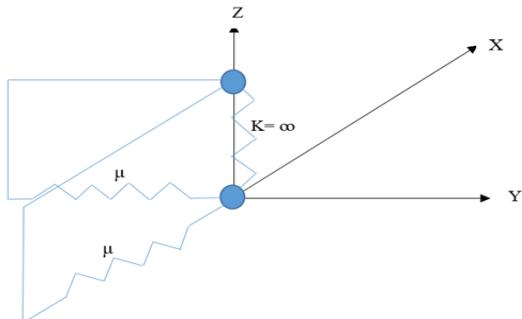
الشكل (17) العلاقة بين قوة مقاومة الاحتكاك - الانقلال للمسند الخطى المتقطع



الشكل (18) التسارع النزلي على كامل ارتفاع المبنى تحت تأثير هزة كوبى

5-2-تغيير معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطى المتقطع: لمعرفة تأثير تغير قيمة معامل الاحتكاك، تم دراسة سلوك المنشآت للمبنى المؤلف من 25 طابق تحت تأثير هزة كوبى فقط وتم اختيار هذه الهرة لا على التعين، حيث تتراوح قيمة معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطى المتقطع ($0.002\sim0.003$).

(<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.technico.com/pdf/500-1e.pdf&ved=2ahUKEwir3MqYq4WAxWRzQIHHRBrBHkQFnoECAsQAQ&usg=AOvVaw2TBFT2609-Tyw514q0b8Uz>)



الشكل (16) النموذج الرياضي للعازل الخطى المتقطع وتوضيح العلاقة بين القوة والانتقالات

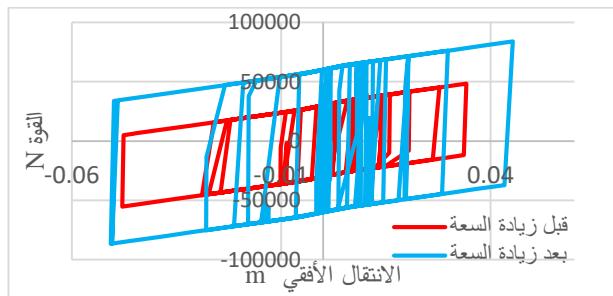
يوضح الشكل (16) النموذج الرياضي للمسند الخطى المتقطع المتمثل بـ μ & K ، وسلوك العازل المتمثل بعلاقة القوى-الانتقال وتعطى بالعلاقة التالية:

$$F = \mu p$$

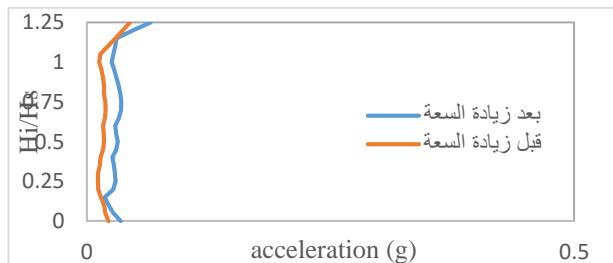
الجدول (9) مواصفات العازل المطاطي

المسند المطاطي (LRB)	بعد زيادة السعة	قبل زيادة السعة
Keff	2100 kN/m	1400 kN/m
K1	13000 kN/m	7350 kN/m
a	10%	10%

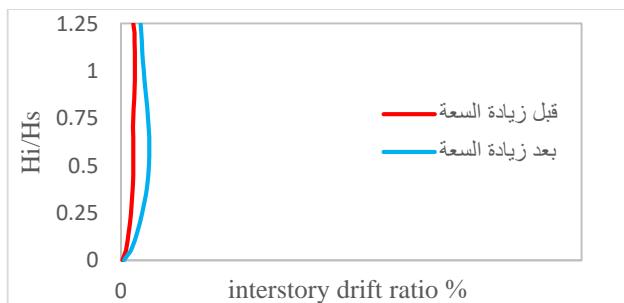
يوضح الشكل (21) علاقـة القوى-الانتقال للمسـند المطـاطـي قبل وبعد زـيـادة السـعـة نـلاحظ اـرـيـادـ كـمـيـةـ الطـاـقـةـ المـبـدـدـةـ باـزـيدـادـ السـعـةـ.



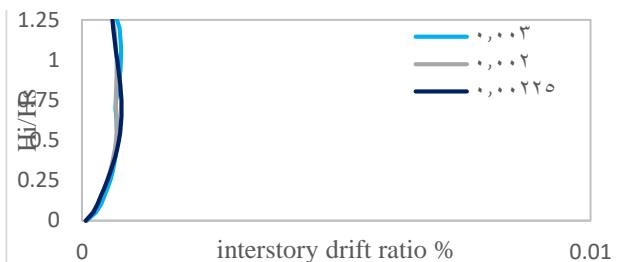
الشكل (21) علاقـةـ القـوىـ -ـ الـانـتـقـالـ لـالـمـسـنـدـ المـطـاطـيـ



الشكل (22) التـسـارـعـ الـزلـزـالـيـ عـلـىـ كـامـلـ اـرـفـاعـ الـمـبـنـىـ



الشكل (23) الإـرـاحـةـ الطـابـقـيـةـ النـسـبـيـةـ عـلـىـ كـامـلـ اـرـفـاعـ الـمـبـنـىـ



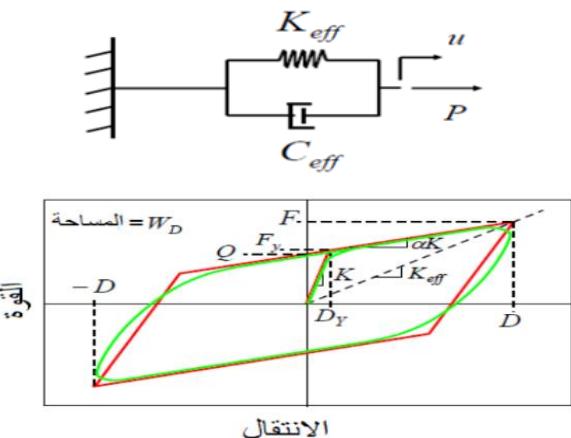
الشكل (19) الإـرـاحـةـ الطـابـقـيـةـ النـسـبـيـةـ عـلـىـ كـامـلـ اـرـفـاعـ الـمـبـنـىـ تـأـثـيرـ هـزـةـ كـوـبـيـ

تبـينـ الأـشـكـالـ (19)ـ (20)ـ مـقـارـنةـ قـيـمـ التـسـارـعـ وـالـإـرـاحـةـ الطـابـقـيـةـ النـسـبـيـةـ لـلـمـبـنـىـ المؤـلـفـ منـ 25ـ طـابـقـ عـنـدـ تـغـيـيرـ مـعـاـلـمـ الـاحـتكـاكـ ضـمـنـ الـمـسـنـدـ الخـطـيـ المـتـقـاطـعـ تـحـتـ تـأـثـيرـ هـزـةـ كـوـبـيـ،ـ وـنـلـاحـظـ أـنـ تـغـيـيرـ مـعـاـلـمـ الـاحـتكـاكـ ضـمـنـ الـمـسـنـدـ الخـطـيـ المـتـقـاطـعـ لـمـ يـكـنـ لـهـ أـيـ تـأـثـيرـ عـلـىـ اـسـتـجـابـةـ الـمـبـنـىـ.

5-3-الطاقة التخميدية للعوازل المطاطية:

تمـ زـيـادـةـ الطـاـقـةـ التـخـمـيـدـيـةـ لـلـمـسـنـدـ المـط~اطـيـةـ مـنـ خـلـالـ تـغـيـيرـ الـمـوـاصـفـاتـ لـلـعـازـلـ المـط~اطـيـ كـمـاـ هـوـ مـبـيـنـ فـيـ جـوـدـلـ (9)ـ،ـ حـيـثـ يـبـيـنـ الشـكـلـ (20)ـ النـمـوـذـجـ الـرـياـضـيـ الخـطـيـ لـلـعـازـلـ المـط~اط~يـ وـخـواـصـهـ المـمـثـلـةـ بـ keffـ &ـ Ceffـ،ـ سـلـوكـ العـازـلـ المـط~اط~يـ الـمـمـثـلـ بـ عـلـىـ قـوـةـ القـصـ (F)ـ،ـ وـالـانـتـقـالـ لـلـمـسـنـدـ المـط~اط~يـ (D)ـ.

(2016 ، هـلـةـ .ـ حـسـنـ)



الشكل (20) النـمـوـذـجـ الـرـياـضـيـ الخـطـيـ لـلـعـازـلـ المـط~اط~يـ وـتـوـضـيـعـ الـعـلـاقـةـ بـيـنـ الـقـوـةـ وـالـانـتـقـالـاتـ

6- إن تغيير معامل الاحتكاك ضمن المسند الخطى المتقطع لم يكن له أي تأثير على استجابة المبنى.

7- بما أن تبديل بعض المحمادات بأخرى ذات سعة أكبر لم يؤثر على قيم التسارعات والإزاحة الطابقية بشكل ملموس فإن وضع المحمد ذو السعة المناسبة في المكان المناسب سيكون أكثر اقتصادية.

7 - التوصيات والأعمال المستقبلية:

- دراسة ظاهرة الشد التي يمكن أن تظهر في المساند المطاطية ذات المقاومة الضعيفة له وخصوصاً عند المساند الطرفية والركنوية في الأبنية العالية ومقارنتها مع سلوك المساند الخطية المتقطعة التي تقاوم الشد بكفاءة.

- دراسة برامترية لاكتشاف ارتفاع المبني الفعال للمساند الخطية المتقطعة (ارتفاعات عالية تفوق الارتفاعات التي تعتمد على مساند مطاطية بسبب فعالية المساند المتقطعة عند التواترات المنخفضة).

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

نلاحظ من الأشكال (22-23) أن زيادة سعة المساند المطاطية لم يؤثر على قيم التسارعات والإزاحة الطابقية النسبية بشكل ملموس.

6- الاستنتاجات:

1- ازدياد قيمة الدور في حالة المبني المعزولة مقارنة مع المبني من دون عزل.

2- نقصان قيمة كل من (التسارعات - الإزاحات الطابقية - قوى القص) في المبني المعزولة مقارنة مع المبني من دون عزل.

3- بلغ النقصان عندأخذ الفرق النسبي لقيم التسارع بين حالة القاعدة الثابتة وحالة القاعدة المعزولة لهرزة TCU67 في الطابق الأخير 96% و 94% و 91% في المبني 25 و 30 و 35 طابق على التوالي أما بالنسبة لوسطي نتائج الهزات بلغ النقصان (89%) في الطابق الأخير في جميع المباني.

4- بلغ النقصان في الإزاحات الطابقية النسبية في الطابق الأخير لهرزة TCU67 93% و 91% و 71% في المبني 25 و 30 و 35 طابق على التوالي أما بالنسبة لوسطي نتائج الهزات فقد بلغ النقصان (80%) في المبني 25 و 30 و 35 طابق 76.6% لحالة 35 طابق.

5- انخفضت قوى القص ضمن المبني المعزولة حوالي 81% عندأخذ متوسط نتائج الهزات مقارنة مع المبني الموثقة.

References:

- [1]- هالة توفيق حسن. 2016. تحسين سلوك الأبنية العالية باستخدام نظام العزل القاعدي الهجين و مخدمات الاحتكاك الدورانية. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، مج. 32 ، ع. 1، ص ص. 39-50 .
<https://search.emarefa.net/detail/BIM> -874312
- [2]- Toniolo, R. (2008, July). THK: CLB crossed Linear Bearing Seismic Isolators. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1020, No. 1, pp. 1483- 1492). American Institute of Physics.
- [3]- ARIMA, F., SUZUKI, T., TAKASE, N., & HARADA, H. (2000). A development of a new technology for base-isolated buildings using crossed linear bearings. In Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering.
- [4]- Sasaki, T., Sato, E., Ryan, K. L., Okazaki, T., Mahin, S. A., & Kajiwara, K. (2012, September). NEES/E-defense base-isolation tests: effectiveness of friction pendulum and lead-rubber bearing systems. In Proceedings of the 15th World Conference of Earthquake Engineering
- [5]- Ryan, K. L., Okazaki, T., Coria, C. B., Sato, E., & Sasaki, T. (2018). Response of hybrid isolation system during a shake table experiment of a full-scale isolated building. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 47(11), 2214-2232
- [6]- Calugaru, V., & Panagiotou, M. (2014). Seismic response of 20-story base-isolated and fixed-base reinforced concrete structural wall buildings at a near-fault site. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 43(6), 927-948.
- [7]- Lin, Y. S., Chan, R. W., & Tagawa, H. (2020). Earthquake early warning-enabled smart base isolation system. *Automation in Construction*, 115, 103203.
- [8]
<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.technico.com/pdf/500-1e.pdf&ved=2ahUKEwir3MqYq4WAAxWRzQIHHRBrBHkQFnoECAsQAQ&usg=AOvVaw2TBFT2609-Tyw5l4q0b8Uz> , Thk